

**Resposta do Sorgo Sacarino à  
Adubação NPK em Latossolo de  
Cerrado da Região Central de  
Minas Gerais**



ISSN 1679-0154

Dezembro, 2015

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**

**Embrapa Milho e Sorgo**

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 130**

## **Resposta do Sorgo Sacarino à Adubação NPK em Latossolo de Cerrado da Região Central de Minas Gerais**

Flávia Cristina dos Santos

Álvaro Vilela de Resende

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho

André May

Samara Cristiele Barros da Cruz

Geraldo de Amaral Gravina

Rafael Augusto da Costa Parrella

Embrapa Milho e Sorgo

Sete Lagoas, MG

2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

[www.embrapa.br/fale-conosco](http://www.embrapa.br/fale-conosco)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges

Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Monica Matoso

Campanha, Roberto dos Santos Trindade, Rosângela Lacerda de

Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: Flávia Cristina dos Santos

**1ª edição**

**Versão Eletrônica (2015)**

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Milho e Sorgo**

Resposta do sorgo sacarino à adubação NPK em Latossolo de Cerrado na Região Central de Minas Gerais / Flávia Cristina dos Santos ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

35 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 130).

1. Adubo – nitrogênio – potássio. 2. Sorgo açucareiro. 3. Nutrição vegetal. 4. Recurso energético. I. Santos, Flávia Cristina dos. II. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2015

# Sumário

<b>Resumo .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>7</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>9</b>
<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>12</b>
<b>Conclusões .....</b>	<b>26</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>27</b>
<b>Referências .....</b>	<b>27</b>
<b>Literatura Recomendada .....</b>	<b>32</b>

# **Resposta do Sorgo Sacarino à Adubação NPK em Latossolo de Cerrado da Região Central de Minas Gerais**

---

***Flávia Cristina dos Santos<sup>1</sup>***

***Álvaro Vilela de Resende<sup>2</sup>***

***Manoel Ricardo de Albuquerque Filho<sup>3</sup>***

***André May<sup>4</sup>***

***Samara Cristiele Barros da Cruz<sup>5</sup>***

***Geraldo de Amaral Gravina<sup>6</sup>***

***Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>7</sup>***

## **Resumo**

O manejo da adubação para o sorgo sacarino é de grande importância pela elevada exportação de nutrientes, uma vez que na colheita as plantas inteiras são removidas da lavoura. Assim, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação NPK sobre aspectos produtivos, nutricionais e extração de nutrientes na cultura. Foi instalado um experimento nos anos de 2012 e 2013, na Embrapa Milho e Sorgo, em Latossolo Vermelho muito argiloso. Os tratamentos consistiram de um fatorial 3x3x3

---

<sup>1</sup> Eng.-Agrôn., Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisadora em Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, flavia.santos@embrapa.br

<sup>2</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, alvaro.resende@embrapa.br

<sup>3</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Manejo e Conservação do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, manoel.ricardo@embrapa.br

<sup>4</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Produção Vegetal, Pesquisador em Sistemas de Produção de Sorgo Energia da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, andre.may@embrapa.br

<sup>5</sup> Estudante de Agronomia e bolsista de Iniciação Científica; Universidade Federal de São João del-Rei; Sete Lagoas, MG, samara.cristiele@hotmail.com

<sup>6</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Produção Vegetal, Professor Associado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, gravina@uenf.br

<sup>7</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador em Melhoramento de Plantas da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, rafael.parrella@embrapa.br

+1, sendo três doses de N (80, 160 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (80, 160 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), mais o tratamento adicional (testemunha sem adubação NPK). O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições. Na primeira safra, as principais variáveis produtivas foram afetadas pela adubação potássica, e, na segunda, pela interação NxP. A elevada extração de N, P e K por tonelada de matéria seca produzida confirmou a elevada demanda e exportação de nutrientes pelo sorgo. Os valores médios dos teores foliares dos nutrientes ficaram dentro da faixa adequada, tomando-se como referência o sorgo granífero. Para otimização da produtividade do sorgo sacarino em solo muito argiloso, recomendam-se 100-70-180 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, respectivamente.

**Termos para indexação:** *Sorghum bicolor*, bioenergia, fertilização, etanol, demanda nutricional

# Response of Sweet Sorghum to NPK Fertilization in Latosol of Cerrado of Minas Gerais Central Region

*Flávia Cristina dos Santos<sup>1</sup>*

*Álvaro Vilela de Resende<sup>2</sup>*

*Manoel Ricardo de Albuquerque Filho<sup>3</sup>*

*André May<sup>4</sup>*

*Samara Cristiele Barros da Cruz<sup>5</sup>*

*Geraldo de Amaral Gravina<sup>6</sup>*

*Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>7</sup>*

## Abstract

The management of fertilization for sweet sorghum is of great importance for the high nutrient export, since the harvest whole plants are removed from the crop. Thus, this study aimed to evaluate the effects of NPK fertilization on productive aspects, nutrition and nutrient uptake in the culture. An experiment was performed in the years 2012 and 2013, at Embrapa Maize and Sorghum, in clayey Oxisol. Treatments consisted of a factorial  $3 \times 3 \times 3 + 1$ , three nitrogen rates (80, 160 and 240 kg ha<sup>-1</sup>) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>) and K<sub>2</sub>O (80, 160 and 240 kg ha<sup>-1</sup>), plus an additional treatment (control without NPK). The design was a randomized block design with four replications. In the first harvest, the main productive variables were affected by potassium fertilization, and in the second, by NXP interaction. The high extraction N, P and K per ton of dry matter produced confirmed the increased demand for nutrients and export of sorghum. The mean values of foliar nutrients were within the proper range, taking as reference the sorghum. To optimize the

productivity of sorghum in clayey soil are recommended 100-70-180 kg ha<sup>-1</sup> of N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, respectively.

**Index terms:** *Sorghum bicolor*, bioenergy, fertilization, ethanol, nutrient requirement

## Introdução

O Brasil se destaca no mundo como um dos países com maior potencial de produção agrícola, principalmente relacionado à sua vasta extensão territorial e condições climáticas favoráveis. Nesse contexto, o País se desponta também como um importante produtor de bioenergia.

A produção de etanol a partir da biomassa de plantas foi dominada no Brasil pela cultura da cana-de-açúcar, mas o sorgo sacarino também se mostra como cultura potencialmente interessante para o setor sucroalcooleiro, podendo inclusive ser uma excelente alternativa para produção na entressafra da cana, de forma a otimizar a estrutura das usinas.

O sorgo sacarino como matéria-prima para produção de etanol oferece as vantagens de ser uma das espécies mais versáteis e eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético quanto em velocidade de crescimento, apresentando ciclo de aproximadamente 120 dias. Além disso, é uma cultura totalmente mecanizável, possui colmos suculentos com açúcares totalmente fermentáveis e com produção de massa verde variando de 40 a 60 t ha<sup>-1</sup>. O bagaço gerado pela extração do caldo serve também para a geração de energia para a indústria, permite a produção de etanol de segunda geração e serve como fonte de alimentação animal. (OLIVEIRA;



RAMALHO, 2006; LOURENÇO et al., 2013; RIBEIRO FILHO et al., 2008).

Embora a cultura tenha potencial para a produção de bioenergia, é preciso atenção para algumas questões relevantes. Hill et al. (2009) concluem que as vantagens potenciais dos biocombustíveis dependem da elevação da eficiência dos sistemas de produção da cultura e das biorrefinarias. Outra preocupação relacionada aos biocombustíveis diz respeito ao balanço energético, uma vez que a produção de matéria-prima emprega grande quantidade de energia e insumos. Somente culturas de alta produção de biomassa em relação à adubação nitrogenada, como a cana-de-açúcar e o dendê, têm apresentado balanços altamente positivos (média de 8,7), enquanto outras culturas precisam ser melhoradas mediante seleção de variedades para alto rendimento e substituição ou redução da adubação (URQUIAGA et al., 2005).

Diante do exposto, o manejo nutricional deve ser cuidadosamente trabalhado, pois está diretamente envolvido no aumento de produtividade das culturas, qualidade do caldo produzido e balanço de nutrientes no sistema solo-planta, entre outros. Como relatado por Resende et al. (2009) e por Durães (2011), o sorgo é uma espécie agrícola rústica, comparativamente às outras culturas anuais, com boa adaptação a estresses ambientais, respondendo bem à aplicação de insumos modernos como os fertilizantes.

Entretanto, estudos relacionados à nutrição do sorgo sacarino ainda são escassos, e, muitas vezes, as recomendações de manejo da adubação são feitas com base na cultura do milho.

Além disso, há falta de informações quanto às exigências nutricionais de cultivares de alto potencial produtivo, lançados mais recentemente, o que justifica a realização de pesquisas que contemplem estes materiais genéticos, contribuindo para aumentar a eficiência no manejo da adubação, o que possibilitará aumento na produção e redução de custos na lavoura, pela utilização mais racional e eficiente dos fertilizantes e do solo (BORGES, 2006).

O nitrogênio, o fósforo e o potássio são os principais nutrientes envolvidos no aumento de produtividade das plantas. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da adubação NPK sobre os componentes de produção e o estado nutricional do sorgo sacarino em solo de Cerrado da Região Central de Minas Gerais.

## **Material e Métodos**

Foi conduzido um experimento no Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, nos anos 2012 e 2013, sob irrigação, utilizando o aplicativo computacional Irrigafácil 2.0 (ALBUQUERQUE et al., 2013). Os experimentos foram instalados em Latossolo Vermelho distroférrico típico, com as seguintes características químicas e física: pH em água = 5,8; Al = 0,25; Ca = 3,5; Mg = 0,6; T = 8,7 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); P-Mehlich 1 = 8; K = 82 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); V = 50 (%); teor de argila e matéria orgânica = 65,0 e 3,1 ( $\text{dag kg}^{-1}$ ). O solo recebeu 1,0  $\text{t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (PRNT 95 %), no dia 17/01/2012, a fim de elevar a saturação por bases a 60%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de um

fatorial  $3 \times 3 \times 3 + 1$ , envolvendo três doses de N (80, 160 e 240 kg  $\text{ha}^{-1}$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (50, 100 e 150 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) e  $\text{K}_2\text{O}$  (80, 160 e 240 kg  $\text{ha}^{-1}$ ), codificados neste trabalho como NPK, além de uma testemunha absoluta, sem aplicação dos fertilizantes. As parcelas foram constituídas por seis linhas de cinco metros de comprimento e espaçadas de 0,7 m. A parcela útil foi composta pelas quatro linhas centrais de quatro metros de comprimento, eliminando-se 0,5 m de bordadura em cada extremidade.

Utilizou-se a cultivar de sorgo sacarino BRS 506 com estande de 120.000 plantas por hectare. No primeiro cultivo, o plantio foi realizado em 09/02/12, e no segundo, em 05/02/13. A adubação de plantio foi realizada no sulco de semeadura e composta pelas doses totais dos tratamentos de P, mais 30 e 60 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N e  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente, à exceção da testemunha absoluta. Aplicou-se também a dose de 100 kg  $\text{ha}^{-1}$  de FTE BR12 em todas as parcelas. A adubação NK de cobertura, com o restante das doses propostas nos tratamentos, foi realizada aos 30 dias após o plantio, quando as plantas apresentavam 4 a 6 folhas completamente desenvolvidas. Utilizaram-se as fontes ureia e cloreto de potássio, aplicadas superficialmente e ao lado, à distância de 20 cm, das linhas de plantio. A colheita foi realizada em 31/05/12 e em 27/05/13, nos dois anos do experimento.

O estado nutricional do sorgo foi avaliado no estágio de emborrachamento, por meio da coleta de folhas na posição mediana da planta. Ao final do ciclo da cultura, foram mensuradas as seguintes variáveis: altura de plantas (distância da superfície do solo até a folha bandeira), produtividade de massa verde e seca total da planta, produtividade de massa verde de colmo, diâmetro do colmo (medido no terço médio das plantas), massa de caldo, porcentagem de fibra, sólidos

solúveis totais (°Brix) e extração de nutrientes por tonelada de massa seca produzida (moagem da planta inteira).

Para a extração do caldo e avaliação de sua massa, as plantas foram moídas em uma ensiladeira estacionária e homogeneizadas em uma betoneira acoplada ao equipamento de moagem, sendo uma massa equivalente a 500 g de cada material triturado e homogeneizado, prensada em uma prensa hidráulica HIDRASEME, modelo PHS 250, por 60 segundos com pressão de trabalho de 145 bar pressão sobre a amostra de 250 Kgf cm<sup>-2</sup>, resultando em força de prensagem de 45 t. Após prensagem, o caldo foi pesado, sendo os sólidos solúveis totais medidos pelo grau Brix com refratômetro (CONSECANA, 2006).

Os dados médios de teores foliares de nutrientes nos tratamentos foram comparados com as referências para o sorgo granífero (MARTINEZ et al., 1999), visto que ainda não se dispõe de indicações de faixas adequadas específicas para o sorgo sacarino. Os demais dados foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ), para verificar os efeitos dos diferentes fatores em estudo. Foram ajustadas equações de regressão para os efeitos simples e significativos, e modelos de superfícies de resposta para as interações duplas ou triplas. Para a escolha dos modelos de regressão baseou-se nos critérios de análise de variância da regressão, no valor do coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ), escolhendo o de maior  $R^2$  e na significância dos coeficientes do modelo por meio da estatística “t” de Student. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.3 (Statistical Analysis System).

## Resultados e Discussão

Para melhor análise e discussão dos resultados dos experimentos, nas Tabelas 1 e 2, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio das diversas variáveis avaliadas em função do tratamento testemunha e dos tratamentos do fatorial NPK.

**Tabela 1.** Valores mínimo, máximo e médio das variáveis do sorgo sacarino, considerando o desempenho no tratamento testemunha e o desempenho médio nos tratamentos do fatorial. Sete Lagoas, 2012.

Variável	Testemunha			Tratamentos Fatorial		
	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio
Altura, m	1,85	2,34	2,02	2,01	3,09	2,66
Massa verde de planta, t ha <sup>-1</sup>	24,16	42,56	33,46	33,04	103,44	63,78
Massa seca planta, t ha <sup>-1</sup>	6,07	9,69	7,13	9,12	27,15	16,76
Massa verde colmo, t ha <sup>-1</sup>	19,92	37,36	28,60	29,28	89,52	56,55
Diâmetro colmo, mm	10,21	15,07	11,82	10,30	18,71	14,38
Massa de caldo, t ha <sup>-1</sup>	13,69	26,00	19,71	20,03	63,33	39,33
Porcentagem fibra	12,70	13,33	13,03	10,76	16,17	12,81
°Brix	11,10	15,40	14,08	10,30	17,30	14,22
Extração N, kg t <sup>-1</sup>	11,40	13,20	12,13	7,80	13,40	10,13
Extração P, kg t <sup>-1</sup>	1,51	2,56	2,09	1,01	1,95	1,41
Extração K, kg t <sup>-1</sup>	15,11	25,46	19,00	9,36	27,33	16,67
Extração Ca, kg t <sup>-1</sup>	2,52	3,35	2,93	2,35	3,73	2,97
Extração Mg, kg t <sup>-1</sup>	2,70	3,50	3,22	1,89	4,01	2,81
Extração S, kg t <sup>-1</sup>	0,64	1,02	0,86	0,56	1,06	0,73
Extração Cu, kg t <sup>-1</sup>	4,49	6,65	5,51	2,91	6,83	4,71
Extração Fe, kg t <sup>-1</sup>	111,67	309,41	214,29	95,69	328,00	171,83
Extração Mn, kg t <sup>-1</sup>	12,31	23,41	18,03	11,31	35,44	20,58
Extração Zn, kg t <sup>-1</sup>	12,99	28,63	23,04	11,10	23,75	17,34

**Tabela 2.** Valores mínimo, máximo e médio das variáveis do sorgo sacarino, considerando o desempenho no tratamento testemunha e o desempenho médio nos tratamentos do fatorial. Sete Lagoas, 2013.

Variável	Testemunha			Tratamentos Fatorial		
	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio
Altura, m	2,50	2,95	2,73	2,40	3,00	2,83
Massa verde de planta, t ha <sup>-1</sup>	64,33	79,65	72,86	49,78	111,94	76,96
Massa seca planta, t ha <sup>-1</sup>	8,39	13,61	11,46	8,47	22,61	14,37
Massa verde colmo, t ha <sup>-1</sup>	57,92	71,60	64,66	43,76	100,00	68,58
Diâmetro colmo, mm	12,35	15,87	14,57	13,85	17,90	15,99
Massa de caldo, t ha <sup>-1</sup>	37,58	48,38	42,80	28,87	64,58	44,99
Porcentagem fibra	13,12	15,09	14,27	12,58	16,20	14,31
°Brix	11,90	13,00	12,48	10,80	14,80	12,89
Extração N, kg t <sup>-1</sup>	9,80	12,30	11,13	9,50	15,60	11,98
Extração P, kg t <sup>-1</sup>	1,29	1,45	1,36	1,01	1,84	1,30
Extração K, kg t <sup>-1</sup>	7,63	9,95	8,85	6,98	17,72	11,87
Extração Ca, kg t <sup>-1</sup>	3,42	3,80	3,64	2,51	4,09	3,17
Extração Mg, kg t <sup>-1</sup>	2,17	3,04	2,57	1,54	2,90	2,18
Extração S, kg t <sup>-1</sup>	0,66	0,85	0,77	0,63	1,09	0,77
Extração Cu, kg t <sup>-1</sup>	3,86	4,91	4,16	2,91	8,38	4,13
Extração Fe, kg t <sup>-1</sup>	266,67	323,84	308,08	176,84	480,42	282,65
Extração Mn, kg t <sup>-1</sup>	16,80	28,11	24,37	16,20	58,18	32,22
Extração Zn, kg t <sup>-1</sup>	19,38	26,87	22,42	19,73	47,52	27,52

## Aspectos Produtivos do Sorgo Sacarino

Observando as Tabelas 1 e 2, percebe-se que o cultivo de 2013 apresentou melhor desempenho produtivo que o de 2012. O que pode explicar este fato foi que os resíduos vegetais do primeiro ano permaneceram na área, ou seja, a ciclagem de nutrientes, entre outros, pode ter favorecido o cultivo do ano seguinte.

De maneira geral, no cultivo de 2012, as variáveis produtivas foram afetadas pela adubação, havendo efeito significativo dos tratamentos do fatorial, bem como da comparação entre o tratamento testemunha com o fatorial, sendo que apenas a porcentagem de fibra e o °Brix não sofreram efeito da adubação (Tabela 3). Já em 2013, apenas altura, massa seca de plantas e diâmetro do colmo foram maiores nos tratamentos adubados em relação à testemunha (Tabelas 2 e 4). Conforme já mencionado, a permanência dos resíduos da cultura no primeiro ano pode explicar esta falta de resposta do cultivo de 2013, mesmo a planta produzindo mais (Tabelas 1 e 2).

Como pode ser observado na Figura 1, o potássio no ano de 2012 teve efeito quadrático sobre a massa verde de planta e de colmo, bem como sobre a massa de caldo, embora o teor inicial de K no solo fosse alto ( $82 \text{ mg dm}^{-3}$ ) conforme a interpretação proposta por Vilela et al. (2004). A dose para a produtividade máxima destas três variáveis foi de  $177 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . A matéria seca de planta sofreu efeito linear das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 1). O potássio é um dos nutrientes que mais interfere na produtividade das culturas, juntamente com o N. Os resultados apresentados evidenciam a necessidade de atenção com a adubação potássica para o sorgo sacarino. Além disso, percebe-se a exigência elevada da cultura, pois para se atingir a produtividade máxima foram necessários  $177 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Em trabalho de Cruz et al. (2014), com adubação NPK, houve resposta linear da massa de caldo ao potássio. Almodares e Mostafafi (2006) verificaram efeito sinérgico da adubação nitrogenada e potássica no sorgo sacarino no aumento da produtividade de colmos.

**Tabela 3.** Significância da Anova, e coeficiente de variação, para altura de plantas (Alt, em m), massa verde de planta (MV pl, em t ha<sup>-1</sup>), massa seca de planta (MS pl, em t ha<sup>-1</sup>), massa verde de colmo (MV col, em t ha<sup>-1</sup>), diâmetro do colmo (D col, em mm), massa de caldo (MC, em t ha<sup>-1</sup>), porcentagem de fibra (PFib), sólidos solúveis totais (°Brix) em função dos tratamentos de adubação NPK. Sete Lagoas, 2012.

F.V.	G.L.	Alt	MV pl	MS pl	MV col	D col	MC	PFib	°Brix
Bloco	3								
Fat	(27)	**	*	**	*	ns	**	ns	ns
N	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	2	ns	*	*	*	ns	**	ns	ns
Ef. Linear			*	*	*		*		
Ef. Quad.			*	ns	*		*		
NxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxP	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxPxK	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Test.x Fat	1	**	**	**	**	**	**	ns	ns
Resíduo	81								
C.V., %		7,53	21,53	19,81	21,88	11,21	22,34	6,24	7,38

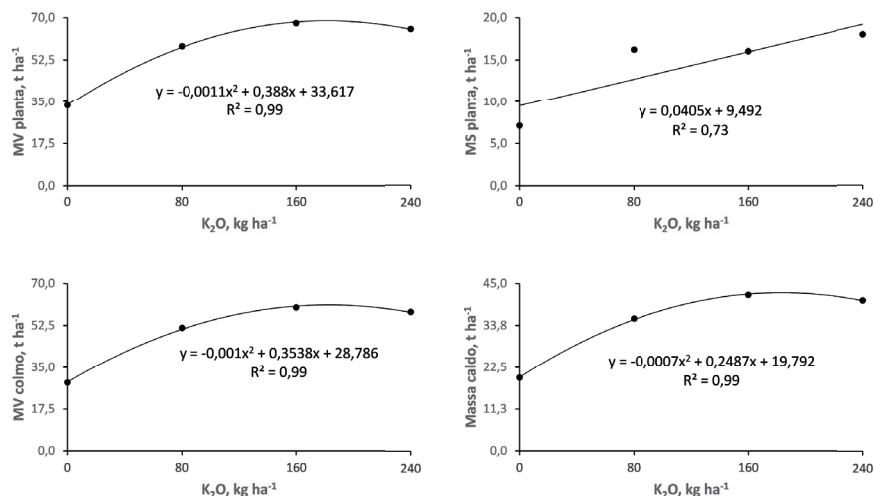
\*\*, \* e ns - significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.



**Tabela 4.** Significância da Anova, e coeficiente de variação, para altura de plantas (Alt, em m), massa verde de planta (MV pl, em t ha<sup>-1</sup>), massa seca de planta (MS pl, em t ha<sup>-1</sup>), massa verde de colmo (MV col, em t ha<sup>-1</sup>), diâmetro do colmo (D col, em mm), massa de caldo (MC, em t ha<sup>-1</sup>), porcentagem de fibra (PFib), sólidos solúveis totais (°Brix) em função dos tratamentos de adubação NPK. Sete Lagoas, 2013.

F.V.	G.L.	Alt	MV pl	MS pl	MV col	D col	MC	PFib	°Brix
Bloco	3								
Fat	(27)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
N	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
P	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxP	4	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns
PxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxPxK	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Test.x Fat	1	*	ns	*	ns	**	ns	ns	ns
Resíduo	81								
C.V., %		4,04	16,01	19,34	16,38	5,17	17,18	5,34	4,88

\*\*, \* e ns - significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente,



**Figura 1.** Massa verde (MV) de planta, massa seca (MS) de planta, MV colmo e massa caldo em função de doses de  $K_2O$  na adubação. Sete Lagoas, 2012.

A falta de resposta das variáveis produtivas ao K em 2013 (Tabela 4) pode ser explicada pela contribuição do K proveniente dos restos culturais do cultivo de 2012, que permaneceram na área.

A falta de resposta à adubação com N e P das variáveis produtivas em 2012 pode ser justificada, em parte, pelo teor médio de matéria orgânica do solo, com estimativa de fornecimento de 90  $kg\ ha^{-1}$  de N (1 dag  $kg^{-1}$  de matéria orgânica pode fornecer 30  $kg\ ha^{-1}$  de N) (SOUSA; LOBATO, 2004). Além disso, o sorgo é reconhecido pela alta eficiência na utilização do N (GARDNER et al., 1994; MARANVILLE; MADHAVAN, 2002). Barbanti et al. (2006) relatam que o sorgo pode produzir cerca de 20  $t\ ha^{-1}$  de matéria seca apenas com a reserva de N do solo. Este valor está coerente com dado médio de produtividade de

matéria seca deste trabalho nos tratamentos com adubação, que foi de 16,76 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Considerando o P, o seu teor inicial disponível no solo de 8 mg dm<sup>-3</sup> é classificado como adequado de acordo com Sousa et al. (2002) e, por isso, pode não ter havido resposta à adubação fosfatada. Todavia, em 2013, a média do P foliar dos tratamentos adubados (Tabela 2) ficou abaixo do valor considerado adequado para a cultura do sorgo granífero (MARTINEZ et al., 1999).

Na segunda safra, houve efeito da interação dupla NxP para a massa verde de planta e colmo e massa de caldo (Tabela 4). Buscaram-se os modelos de superfícies de resposta que melhor explicassem estas relações funcionais entre doses de N e P e as variáveis dependentes. Para a variável MV pl a melhor equação ajustada foi:

$$Y_{(MV\ pl)} = 73,2341 + 0,245769 * N - 0,00134569 * N^2 + 1,02699 * P_2O_5 - 0,00724092 * (P_2O_5)^2 - 0,0183870 * N * P_2O_5 + 0,000066400 N^2 * P_2O_5 + 0,000116838 * N * (P_2O_5)^2 - 0,000000389913 * N^2 * (P_2O_5)^2.$$

Ponto de máximo: N = 88,89 kg ha<sup>-1</sup> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 70,71 kg ha<sup>-1</sup>

$$\text{Para MV col: } Y_{(MV\ col)} = 64,9395 + 0,242636 * N - 0,0012699 * N^2 + 0,942018 * P_2O_5 - 0,00670574 * (P_2O_5)^2 - 0,0171264 * N * P_2O_5 + 0,0000612428 N^2 * P_2O_5 + 0,00010908 * N * (P_2O_5)^2 - 0,000000360888 * N^2 * (P_2O_5)^2.$$

Ponto de máximo: N=101,72Kg e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=69,35Kg

$$\text{Para MC: } Y_{(MC)} = 42,9259 + 0,122844 * N - 0,00067883 * N^2 + 0,586677 * P_2O_5 - 0,00428447 * (P_2O_5)^2 - 0,0100452 * N * P_2O_5.$$

$$P_2O_5 + 0,000035504^{**} 7N^2.P_2O_5 + 0,0000664462^{**} N.(P_2O_5)^2 - 0,000000216267^{**} N^2.(P_2O_5)^2.$$

Ponto de máximo: N=94,44Kg e  $P_2O_5$ =68,39Kg

Para o Brix, a interação tripla foi significativa indicando a importância da adubação com os três elementos (N, P e K). Desta forma, a combinação de doses que promoveu o máximo Brix foi 80:100:80 de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , respectivamente.

O valores médios de massa verde de colmo da primeira e segunda safras dos tratamentos adubados, (56,55 e 68,58 t ha<sup>-1</sup>, Tabelas 1 e 2, respectivamente) superaram os obtidos por May et al. (2012), em estudo com arranjo de plantas e desempenho do sorgo sacarino, que obtiveram as produtividades máximas de 52,84 t ha<sup>-1</sup>, 53,49 t ha<sup>-1</sup> e 53,86 t ha<sup>-1</sup>, nos estandes de 100 mil, 120 mil e 140 mil plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e são muito superiores aos obtidos por Marchezan e Silva (1984), que obtiveram valor médio de 34,78 t ha<sup>-1</sup> de massa verde de colmos.

A massa do caldo é uma das variáveis mais importantes para a exploração do sorgo sacarino, pois este é que será convertido em biocombustível. Neste trabalho, as médias de massa de caldo de 39,33 e 44,99 t ha<sup>-1</sup>, da primeira e segunda safras dos tratamentos adubados (Tabelas 1 e 2), superaram as 35 t ha<sup>-1</sup> de caldo, que é o valor mínimo que a indústria de biocombustíveis tem como referência para uma exploração lucrativa.

Albuquerque et al. (2012) verificaram que a cultivar BRS 506 produziu 7,13 t ha<sup>-1</sup> de caldo (média de 3 locais em Minas

Gerais), valor este bem abaixo do encontrado no presente trabalho, que foi conduzido sob irrigação.

Porcentagem de fibra e Brix também são importantes variáveis a serem avaliadas na produção de bioenergia e, como já discutido, houve efeito apenas da interação tripla para Brix na segunda safra (Tabelas 3 e 4). Rosolem et al. (1982) avaliaram o efeito da adubação sobre algumas características tecnológicas do sorgo sacarino, incluindo porcentagem de fibra e Brix, e mencionaram haver inconsistências nos resultados obtidos, que variaram de 9,9% a 16,6% e de 16,2° a 19,0°, respectivamente. Os autores também concluíram que a produção de álcool por área parece ser influenciada principalmente pela quantidade de caldo produzida, desde que a cultivar apresente características tecnológicas dentro de limites aceitáveis pela indústria.

Os valores médios da porcentagem de fibra, das duas safras dos tratamentos com adubação (Tabelas 1 e 2), ficaram dentro dos padrões de 12 a 20% desejados pela indústria, embora mais próximos do limite inferior. Já os valores médios do Brix (Tabelas 1 e 2) ficaram abaixo da faixa considerada adequada pela indústria (15 a 19) (PACHECO, 2012). Entretanto, Parrella et al. (2010), avaliando 25 genótipos de sorgo sacarino em cinco locais, entre eles o BRS 506 em Sete Lagoas, obtiveram Brix médio de 18,42 e um valor de 20,4 para o BRS 506. Este valor supera o esperado pela indústria e mostra o potencial de qualidade de caldo do sorgo sacarino, sendo confirmado por trabalho de Almodares e Hadi (2009), que estudando 36 genótipos de sorgo sacarino encontraram Brix variando de 14,32 a 23,85. Já Pereira Filho et al. (2013) obtiveram valor de Brix de 15,55 com a cultivar BRS 506, em Sete Lagoas, valor este mais próximo ao observado no presente trabalho.

Cabe ressaltar que, com a elevação do preço da energia elétrica, a queima do bagaço do sorgo para cogeração de energia passa a ter importância na exploração da cultura para fins energéticos, além do caldo. Com o valor médio das duas safras de 15,57 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca produzida, nos tratamentos com adubação (Tabelas 1 e 2), pode-se gerar um total de 58,5 MWh, com preço médio do mês de julho de 2015 de R\$ 240,08/MWh (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015), dá uma receita anual de R\$ 14.051,13, ou seja, um bom adicional de renda da exploração da cultura.

## Extração de Nutrientes pelo Sorgo Sacarino

A extração de nutriente, de forma geral, foi pouco afetada pelos tratamentos do fatorial, ou seja, pelas doses de NPK, havendo efeitos significativos, predominantemente, entre a testemunha e tratamentos adubados no ano de 2012 (Tabela 5), e efeito do K sobre a extração dos nutrientes K, Ca e Mg em 2013 (Tabela 6).

Na primeira safra, a extração de N foi reduzida linearmente pela adubação nitrogenada ( $Y = 11,305 - 0,0056 * X$ ), assim como a extração de K pela adubação potássica ( $Y = 17,579 - 0,0027 * X$ ) (Tabela 5). A extração de Ca sofreu efeito da interação P x K e a curva de resposta ajustada foi:  $Y_{(Ca_{kg/t})} = 2,888 + 1,09193P - 0,0000463987P^2 - 0,000413909K + 0,0000172986K^2 - 0,000117574PK + 0,00000051850P^2K$ , apresentando ponto de máximo para P e de mínimo para K.

Na segunda safra, a extração de N sofreu efeito da interação N x P, com equação de curva de resposta:

$$Y_{(N_{kg/t})} = 10,9067 + 0,037692 * N - 0,000124311 * N^2 - 0,0191275 * P_2O_5 + 0,000147395 * (P_2O_5)^2 - 0,000236765 * N.P_2O_5$$

$+0,000000920431 * N^2.P_2O_5$ ; ponto de máximo:  $N = 151,63 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $P_2O_5 = 65,69 \text{ kg ha}^{-1}$ .

As extrações de K, Ca e Mg foram afetadas pela adubação potássica, e as equações de regressão obtidas foram  $Y_{(K\text{kg t})} = 0,9445 + 0,0151 ** X_{(K2O)}$ ;  $Y_{(Ca\text{kg t})} = 3,477 - 0,0019 ** X_{(K2O)}$ ;  $Y_{(Mg\text{kg t})} = 2,440 - 0,0016 ** X_{(K2O)}$ . Cujos pontos críticos das funções foram: ( $X_{(N)}=240$ ;  $Y_{(K\text{kg t})}=13,06$ , ponto de máximo); ( $X_{(N)}=240$ ;  $Y_{(Ca\text{kg t})}=3,02$ , ponto de mínimo); ( $X_{(N)}=240$ ;  $Y_{(Mg\text{kg t})}=2,06$ , ponto de mínimo). A redução da extração de Ca e Mg pela adubação com K pode estar relacionada à competição que normalmente ocorre entre esses cátions por sítios de troca nos coloides do solo, bem como por sítios de absorção nas raízes (PECK; MACDONALD, 1989).

Observando os dados médios das duas safras, para os tratamentos adubados, das extrações dos macronutrientes primários, NPK (11,06, 1,36 e 14,27  $\text{kg t}^{-1}$ , respectivamente), que são os absorvidos em maiores quantidades pelas plantas, e da produtividade média dos dois anos de matéria seca da planta (15,56  $\text{t ha}^{-1}$ ) (Tabelas 1 e 2), para transformar a extração em  $\text{kg ha}^{-1}$ , se obtêm valores próximos de 170, 20 e 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, P e K, respectivamente, que mostram a quantidade elevada de nutrientes que é exportada do sistema. Assim, é preciso dar atenção ao manejo solo-planta ao longo dos anos de cultivo, para se evitar uma degradação química do solo. Isso se reflete nos resultados apresentados neste trabalho, em que houve resposta ao K, na primeira safra, e ao N e P na segunda, considerando importantes variáveis produtivas, como massa verde e seca de planta, massa verde de colmo e massa de caldo (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 5.** Significância da Anova, e coeficiente de variação, para extração de macro (N, P, K, Ca, Mg e S, em kg tMS<sup>-1</sup>) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn, g tMS<sup>-1</sup>) em função dos tratamentos de adubação NPK. Sete Lagoas, 2012.

F.V.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Bloco	3										
Fat	(27)	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N	2	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
K	2	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxP	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PxK	4	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxPxK	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Test.x Fat	1	**	**	ns	ns	*	*	*	*	ns	**
Resíduo	81										
C.V., %		10,48	14,01	19,69	10,55	13,10	13,09	12,67	21,37	21,61	14,66

\*\*, \* e ns - significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.



**Tabela 6.** Significância da Anova, e coeficiente de variação, para extração de macro (N, P, K, Ca, Mg e S, em kg tMS<sup>-1</sup>) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn, g tMS<sup>-1</sup>) em função dos tratamentos de adubação NPK. Sete Lagoas, 2013.

F.V.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Bloco	3										
Fat	(27)	*	ns	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
N	2	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
P	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	2	ns	ns	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
NxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxP	4	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PxK	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NxPxK	8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Test.x Fat	1	ns	ns	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
Resíduo	81										
C.V., %		7,69	10,23	14,52	8,39	10,92	8,28	16,71	20,47	47,09	37,01

\*\*, \* e ns - significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

## Avaliação do Estado Nutricional do Sorgo Sacarino

De forma geral, as médias dos teores foliares de nutrientes, inclusive do tratamento testemunha (Tabelas 7 e 8), ficaram dentro das faixas consideradas adequadas, tomando-se como referência as indicações para a cultura do sorgo granífero (MARTINEZ et al., 1999). Contudo, cabe ponderar que essas faixas foram criadas há 16 anos, a partir de experimentação com sorgo granífero e, possivelmente, envolvendo genótipos menos produtivos que os atualmente disponíveis aos agricultores. Assim sendo, justificam-se esforços de pesquisa para desenvolver faixas adequadas de teores foliares para cultivares de sorgo sacarino, cuja demanda nutricional tem se mostrado bastante elevada.

**Tabela 7.** Valores médios dos teores foliares de macro (N, P, K, Ca, Mg e S, em g kg<sup>-1</sup>) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn, mg kg<sup>-1</sup>) em função dos tratamentos de adubação NPK, em kg ha<sup>-1</sup>. Sete Lagoas, 2012.

NPK	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
0-0-0	27,90	5,37	30,00	7,93	5,31	2,12	10,85	185,24	23,45	32,04
80-50-80	30,13	5,27	21,60	10,07	6,76	2,30	10,84	194,62	30,12	37,65
80-50-160	30,53	5,25	20,72	9,55	6,29	2,16	9,54	191,35	23,49	34,56
80-50-240	33,73	5,74	21,01	10,47	7,24	2,52	11,25	206,24	32,10	39,78
80-100-80	28,90	5,09	19,96	10,40	6,82	2,25	9,67	191,64	27,81	35,38
80-100-160	31,60	5,64	19,66	9,96	7,44	2,31	10,22	195,96	33,94	38,89
80-100-240	32,20	5,04	19,67	9,50	6,29	2,22	9,86	189,10	32,83	34,67
80-150-80	30,20	5,08	19,41	9,92	7,19	2,28	10,04	185,95	26,96	33,72
80-150-160	31,65	5,63	20,96	10,57	7,10	2,46	10,89	203,62	32,92	38,59
80-150-240	31,43	5,53	22,46	9,34	5,88	2,38	10,33	188,73	27,74	34,95
160-50-80	33,75	5,81	20,46	11,00	7,40	2,61	11,31	213,31	34,06	40,37
160-50-160	34,78	5,36	21,55	10,10	5,86	2,48	10,96	194,19	39,76	38,21
160-50-240	34,55	5,80	21,58	10,02	6,67	2,56	11,53	210,41	42,44	42,15
160-100-80	34,28	5,60	19,12	10,42	7,38	2,53	11,06	205,24	37,26	42,17
160-100-160	32,70	5,25	18,91	9,37	6,53	2,39	10,72	206,34	42,31	38,11
160-100-240	35,83	6,09	22,35	9,99	6,43	2,68	11,75	222,33	41,19	41,12
160-150-80	33,75	5,98	20,64	11,16	7,57	2,61	11,51	226,13	39,38	41,63
160-150-160	34,50	5,22	20,05	9,69	6,19	2,47	11,39	195,67	45,99	38,44
160-150-240	34,03	5,29	19,33	10,12	6,65	2,44	10,83	208,53	40,87	39,22
240-50-80	33,45	5,33	19,90	10,11	7,00	2,45	11,02	194,75	38,01	40,86
240-50-160	35,45	5,38	20,59	9,24	6,31	2,55	11,21	209,83	49,14	40,87
240-50-240	35,58	5,29	20,15	9,22	5,82	2,47	11,03	190,50	40,74	38,62
240-100-80	35,98	5,44	17,73	9,87	7,33	2,47	11,06	188,62	40,43	39,81
240-100-160	33,73	5,45	19,28	9,99	6,78	2,44	10,42	195,39	43,97	38,45
240-100-240	34,18	5,53	22,94	10,30	6,22	2,66	12,63	240,28	49,40	42,31
240-150-80	34,50	5,80	17,79	10,64	7,84	2,52	10,99	192,13	39,45	39,36
240-150-160	33,85	5,70	21,53	9,78	6,28	2,53	11,25	190,52	41,35	41,81
240-150-240	34,85	5,71	20,06	9,23	6,67	2,49	11,18	201,74	39,32	40,50

**Tabela 8.** Valores médios dos teores foliares de macro (N, P, K, Ca, Mg e S, em g kg<sup>-1</sup>) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn, mg kg<sup>-1</sup>) em função dos tratamentos de adubação NPK, em kg ha<sup>-1</sup>. Sete Lagoas, 2013.

NPK	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
0-0-0	34,93	4,13	17,17	6,27	4,25	2,41	8,36	130,71	21,92	20,19
80-50-80	34,05	4,00	17,72	5,20	3,45	2,22	8,67	135,07	26,11	21,81
80-50-160	34,05	4,41	20,04	5,65	3,60	2,43	8,75	145,33	25,31	21,92
80-50-240	33,98	3,71	19,86	4,89	3,36	2,28	8,58	141,75	26,97	20,93
80-100-80	33,33	3,94	19,37	6,43	3,95	2,38	8,67	152,21	25,85	22,97
80-100-160	34,13	4,07	20,94	5,32	3,67	2,38	8,80	142,01	31,22	21,46
80-100-240	33,85	4,02	20,77	4,83	3,34	2,35	8,49	136,23	29,15	22,99
80-150-80	33,15	3,82	18,28	6,42	3,71	2,35	8,13	155,92	29,79	21,79
80-150-160	34,50	4,03	20,59	5,67	3,33	2,45	8,92	152,23	31,14	24,21
80-150-240	33,90	3,96	21,02	4,79	3,03	2,44	8,79	161,30	31,42	26,32
160-50-80	36,25	3,76	17,23	4,94	3,10	2,28	8,91	141,67	29,00	20,47
160-50-160	34,90	3,83	19,57	4,27	2,55	2,43	9,13	155,95	32,49	24,81
160-50-240	34,80	4,25	20,40	4,16	3,02	2,36	8,87	137,41	32,34	23,09
160-100-80	35,53	4,20	18,83	5,03	3,36	2,42	8,84	154,01	29,77	22,80
160-100-160	35,35	4,19	20,52	4,73	3,28	2,58	9,20	157,57	35,31	24,17
160-100-240	34,90	4,21	19,28	4,53	3,26	2,30	8,61	131,10	32,10	22,02
160-150-80	35,75	4,19	20,99	5,49	3,55	2,53	8,71	151,94	30,68	21,94
160-150-160	35,45	4,10	20,97	4,02	2,61	2,41	8,79	144,94	32,28	24,63
160-150-240	35,30	4,30	21,77	5,02	3,40	2,56	9,07	149,05	33,99	24,23
240-50-80	36,00	4,13	19,26	5,02	3,30	2,55	8,88	154,02	34,50	23,57
240-50-160	35,48	3,82	20,41	4,65	2,75	2,46	9,12	152,36	32,87	23,17
240-50-240	34,63	3,77	19,37	4,35	2,43	2,28	9,37	147,29	30,01	22,01
240-100-80	36,18	4,23	19,79	4,79	3,36	2,48	8,47	134,07	33,89	23,80
240-100-160	36,15	3,99	21,81	4,86	3,00	2,50	8,51	147,79	35,41	21,14
240-100-240	36,13	3,68	20,32	4,23	2,35	2,29	8,71	144,33	34,78	20,77
240-150-80	35,83	4,17	17,43	5,24	3,60	2,42	8,47	138,07	30,67	24,35
240-150-160	35,73	4,17	19,55	4,44	2,76	2,49	8,59	142,48	28,35	25,16
240-150-240	35,80	4,20	22,70	4,54	3,12	2,53	8,58	146,40	36,79	23,64

## Conclusões

As extrações dos nutrientes primários NPK de 11,06; 1,36 e 14,27 kg t<sup>-1</sup> de matéria seca produzida confirmam a elevada demanda e exportação deles, uma vez que a planta inteira é colhida e retirada da área para a produção de biocombustível. Esta demanda pode ser suprida, em partes, pela matéria orgânica do solo e resíduos vegetais de cultivo anteriores. Contudo, considerando que, nas condições deste trabalho, as

produtividades máximas das principais variáveis de produção do sorgo sacarino foram alcançadas com as doses de 100-70-180 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, respectivamente, elas são as recomendadas como adubação de manutenção para a cultura em solo muito argiloso de Cerrado da região Central de Minas Gerais.

## Agradecimentos

À Embrapa pelo apoio financeiro.

## Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P.; LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. **Aplicativo computacional "Irrigafácil" versão 2.0 implementado via web para o manejo de irrigação de algumas culturas anuais em Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 164).

ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. C.; GUIMARÃES, A. S.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, K. M. J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2012.

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.

ALMODARES, A.; MOSTAFAFI, D. S. M. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of

sweet sorghum. **Journal of Environmental Biology**, v. 27, p. 601-605, 2006.

BARBANTI, L.; GRANDI, S.; VECCHI, A.; VENTURI, G. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 30-39, 2006.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

**Preço médio da CCEE.** Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/precos/precos\\_medios?\\_afzLoop=68975572726068#%40%3F\\_afzLoop%3D68975572726068%26\\_adf.ctrl-state%3Dc5ba0c0or\\_101](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afzLoop=68975572726068#%40%3F_afzLoop%3D68975572726068%26_adf.ctrl-state%3Dc5ba0c0or_101)> Acesso em: 18 out. 2015.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5 ed. Piracicaba, 2006. 54 p.

CRUZ, S. C. B.; SANTOS, F. C.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C.; MAY, A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Aspectos produtivos do sorgo sacarino em resposta à adubação NPK. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. 1 CD-ROM.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônoma e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

GARDNER, J. C.; MARANVILLE, J. W.; PAPAROZZI, E. T. Nitrogen use efficiency among diverse sorghum cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 728-733, 1994.

HILL, J.; POLASKY, S.; NELSON, E.; TILMAN, D.; HUO, H.; LUDWIG, L.; NEUMANN, J.; ZHENG, H.; BONTA, D. Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 6, p. 2077-2082, 2009.

LOURENÇO, M. E. V.; JANUARIO, M. I. N.; MASSA, V. M. L. Avaliação do potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 36, n. 1, p. 96-103, 2013.

MARANVILLE, J. W.; MADHAVAN, S. Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum. **Plant and Soil**, The Hague, v. 245, p. 25-34, 2002.

MARCHEZAN, E.; SILVA, M. I. Avaliação de cultivares de sorgo em Santa Maria, RS. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 14, p. 161-172, 1984.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.

MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; ABREU, M. C.; BERTOLINO, K. M.; SILVA, A. F. da; COELHO, M.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT,

R. E.; PEREIRA FILHO, I. A. Influência do arranjo de plantas no desempenho produtivo de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em Sete Lagoas-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos**. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 2282-2289. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. J.; RAMALHO, J. **Plano Nacional de Agroenergia: 2006 - 2011**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

PACHECO, T. F. Tecnologia industrial. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G - Tecnologia Qualidade** Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 92-106. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 139).

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PECK, N. H.; MACDONALD, G. E. Sweet corn plant responses to P and K in the soil and to band-applied monoammonium phosphate, potassium sulfate, and magnesium sulfate. **American Society for Horticultural Science Journal**, Alexandria, v. 114, p. 269-272, 1989.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 119).

RIBEIRO FILHO, N. M.; ALVES, R. M.; FLORÊNCIO, I. M.; FLORENTINO, E. R.; DANTAS, J. P. Viabilidade de utilização do caldo do sorgo sacarino para a produção de álcool carburante (etanol). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E.; BRINHOLI, O.; SERRA, G. E. Respostas do sorgo sacarino a N, P e K. II. Características tecnológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 385-391, 1982.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, L. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 147-168.



URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 14, n. 5, p. 42-46, 2005.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, L. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 169-183.

## Literatura Recomendada

AMADUCCI, S.; AMADUCCI, R.; BENATI, R.; VENTURI, G. Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. **Industrial Crops and Products**, v. 11, p. 179-186, 2000.

Burner, D. W.; Tew, T. L.; Harvey, J. J.; Belesky, D. P. Dry matter partitioning and quality of *Miscathus*, *Panicum*, *Saccharum* genotypes in Arkansas, USA. **Biomass Bioenergy**, v. 33, p. 610-619, 2009.

CARVALHO, F.T. **Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho**. 2000. 93 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CONVERSE, A. O. Substrate factors limiting enzymatic hydrolysis. In: SADDLER, J. N. (Ed.). **Bioconversion of forest and agricultural plant residues**. Wallingford: CAB International, 1993. p. 93-105.

DAMASCENO, C. M. B.; SOUSA, S. M. de; NODA, R. W.;  
PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHAES, J. V. de.  
**A importância da lignina para a produção de etanol de segunda  
geração.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 35 p.  
(Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 108).

HOFFMANN JR., L.; ROONEY, W. L. Accumulation of biomass  
and compositional change over the growth season for six  
photoperiod sorghum lines. **Bioenergy Research**, v. 7, p. 811-815,  
2014.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2. ed.  
London: Academic Press, 1997. 889 p.

MOONEY, C. A.; MANSFIELD, S. D.; TOUHY, M. G.; SADDLER,  
J. N. The effect of initial pore volume and lignin content on the  
enzymatic hydrolysis of softwoods. **Bioresource Technology**,  
Essex, v. 64, p. 113-119, 1998.

NAGAIAH, D.; SRINIVASA RAO, P.; PRAKASHAM, R. S.;  
UMA, A.; RADHIKA, K.; BARVE, Y.; UMAKANTH, A. V. High  
biomass sorghum as a potential raw material for biohydrogen  
production: a preliminar avaluation. **Current Trends in  
Biotechnology and Pharmacy**, v. 6. p. 183-189, 2012.

PALONEN, H.; TJERNELD, F.; ZACCHI, G.; TENKANEN, M.  
Adsorption of *Trichoderma reesei* CBH I and EG II and their  
catalytic domains on steam pretreated softwood and isolated  
lignin. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 107, p. 65-72,  
2004.

PARRELLA, R. A.C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônomo de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, p. 37-48, 2006.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. da S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655**: híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 107).

ROONEY, L. W.; MILLER, F. R. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM GRAIN QUALITY, 1982, Patancheru, India. **Proceedings...** Patancheru, India: ICRISAT, 1982. p. 143-162.

SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1661-1674, 2008.

SERNA-SALDÍVAR, S. O.; CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; PÉREZ-CARRILLO, E.; EREDIA-OLEA, E. Sorghum as a multifunctional

crop for the production of fuel ethanol: current status and future trends. In: LIMA, M. A. P. (Ed.). **Bioethanol**. Rijeka: InTech, 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/bioethanol/sorghum-as-a-multifunctional-crop-for-the-production-of-fuel-ethanol-current-status-and-future-trend>>. Acesso em: 14 maio 2013.

SKONIESKI, F.; NORNBORG, J.; AZEVEDO, E.; DAVID, D.; KESSLER, J.; MENEGAZ, A. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 27-32, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/7200>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

STICKLEN, M. B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 9, p. 433-443, 2008.

